

Evaluasi Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo Berdasarkan Data Pengamatan GPS April, Mei, Juni, dan Oktober 2016

Kukuh Prakoso Sudarsono, Teguh Hariyanto, dan Akbar Kurniawan

Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: teguh_hr@geodesy.its.ac.id, akbar.geodesy@gmail.com

Abstrak—Lumpur Sidoarjo adalah peristiwa yang terjadi akibat munculnya lumpur panas dan gas, dan disebut dengan *mudflow* dari lokasi pengeboran PT. Lapindo Brantas di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Dampak yang ditimbulkan oleh peristiwa lumpur Sidoarjo ini adalah adanya fenomena penurunan tanah/*land subsidence* di sekitar kawasan tersebut. Pemantauan penurunan tanah dilakukan dengan pengamatan di kawasan lumpur Sidoarjo menggunakan alat GPS Geodetik dan diikatkan ke CORS ITS. Untuk pengolahan data GPS digunakanlah perangkat lunak ilmiah GAMIT/GLOBK. Dari analisis hasil pengolahan data GPS yang diamati dari bulan April, Mei, Juni, dan Oktober 2016, didapatkan nilai penurunan terendah adalah -0,26709 m pada titik TTG 1307 dan kenaikan tertinggi adalah 0,08758 m pada titik VK14. Namun, apabila dilihat secara keseluruhan, titik pada penelitian 2016 ini cenderung untuk mengalami penurunan tanah. Hasil uji *t-test* menunjukkan bahwa terdapat 14 titik yang mengalami penurunan tanah secara signifikan dan terdapat lima titik yang mengalami penurunan tanah bersifat tidak signifikan atau hanya bersifat numeris.

Kata Kunci—GPS, Lumpur Sidoarjo, *Mudflow*, Penurunan Tanah

I. PENDAHULUAN

PERISTIWA alam yang terjadi di Indonesia banyak sekali terjadi, dikarenakan lokasi geografis Indonesia dan tatanan tektonik yang sering memicu peristiwa alam. Salah satu peristiwa alam yang terjadi di Indonesia adalah lumpur Sidoarjo. Lumpur Sidoarjo adalah peristiwa yang terjadi akibat munculnya lumpur panas dan gas dari lokasi pengeboran PT. Lapindo Brantas di Dusun Balongnongo, Desa Renokenogo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Fenomena yang terjadi pada Lumpur Sidoarjo ini disebut *mudflow*. Dampak yang ditimbulkan oleh adanya peristiwa *mudflow* khususnya Lumpur Sidoarjo ini adalah adanya fenomena penurunan tanah/*amblesan* (*land subsidence*) di sekitar kawasan tersebut, dimana adanya perubahan bertahap atau tiba-tiba *amblesnya* permukaan bumi diakibatkan pergerakan material bumi [1].

Terletak di pemukiman padat penduduk, penurunan tanah/*land subsidence* menjadi salah satu faktor yang harus diawasi. Penurunan tanah (*land subsidence*) terjadi secara perlahan sehingga analisisnya perlu dilakukan secara berkala

(fungsi waktu). Pemantauan *land subsidence* dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) khususnya *Global Positioning System* (GPS, satelit milik Amerika Serikat).

Penurunan tanah berubah dengan sangat pelan sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan *receiver* GPS *handheld*, dikarenakan ketelitian alat yang berkisar hanya sampai satuan meter (m) saja. Penurunan tanah yang pelan terjadi pada kawasan semburan lumpur Sidoarjo, sehingga perlu adanya metode dan alat yang mampu mendeteksinya [2]. Penggunaan *receiver* GPS Geodetik yang diikatkan ke *Continuously Operating Receiver Stations* (CORS) dapat meningkatkan ketelitian hingga milimeter (mm), sehingga memungkinkan untuk mendeteksi adanya penurunan tanah [3].

Pemantauan penurunan tanah ini digunakan GPS Geodetik yang diikatkan pada CORS ITS. Selain penggunaan GPS Geodetik dan CORS, penelitian ini digunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Penelitian ini dilaksanakan di kawasan semburan Lumpur Sidoarjo dalam kurun waktu singkat April, Mei, Juni, dan Oktober 2016.

II. METODOLOGI PENELITIAN

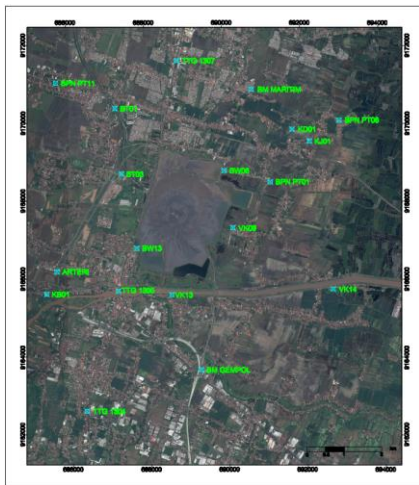
A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo, di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Adapun geografis lokasi penelitian ini terletak di 7° 29' 27.4" LS dan 112° 42' 41.2" BT hingga 7° 34' 20.7" LS dan 112° 41' 27.7" BT. Pengamatan dilakukan sebanyak empat kala, yakni bulan April, Mei, Juni, dan Oktober 2016. Adapun titik pengamatan penelitian telah ada sebelum penelitian ini direncanakan, ditunjukkan pada Gambar 1.

B. Data dan Peralatan

1. Data

Data yang digunakan adalah data pengamatan langsung di kawasan semburan lumpur Sidoarjo menggunakan GPS geodetik. Titik GPS yang digunakan sebanyak 19 titik pengamatan. Data yang GPS yang didapat dalam format RINEX secara keseluruhan berjumlah 76 data, dengan rincian 19 data dalam empat kala (April, Mei, Juni, dan Oktober 2016).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dibagi menjadi dua, yakni perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat lunak terdiri dari GPS geodetik TOPCON HiperPro, komputer, *notebook*, dan *printer*. Perangkat lunak terdiri dari sistem operasi Windows 7 dan Ubuntu 15.04, perangkat lunak TOPCON TOOL, perangkat lunak pembuat dokumen, perangkat lunak pengolahan data, dan perangkat lunak GAMIT/GLOBK.

C. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah penjelasan diagram alir penelitian seperti pada Gambar 2:

1. Pengambilan data menggunakan GPS geodetik

Pengambilan data merupakan tahap awal dalam penelitian ini. Pengambilan data dilakukan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo pada bulan April, Mei, Juni, dan Oktober 2016, pengukuran selama 3-5 jam, menggunakan metode radial dengan CORS ITS sebagai titik ikat. Data pengamatan diubah untuk menghasilkan data RINEX yang digunakan pada pengolahan data GAMIT/GLOBK.

2. Pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK

Tahap pertama pada pengolahan data RINEX adalah dengan melakukan proses GAMIT. Data RINEX serta data kontrol dibuatkan direktori kerja. Setelah direktori kerja dibuat, Proses GAMIT merupakan *automatic batch* dengan melakukan perintah "*sh gamit -d yyyy ddd₁ ddd₂ ddd_n -expt [expt]*". Hasil dari proses GAMIT adalah *h-files*.

Tahap kedua pada pengolahan data RINEX adalah dengan menjalankan proses pengolahan GLOBK untuk menghasilkan koordinat estimasi dan laju pergeseran secara *time-series*. Data *h-files* yang telah dikonversi menjadi *file* biner, dilakukan perintah berupa "*sh glred -s YYYY₁ DDD₁ YYYY₂ DDD₂ -expt [expt] -opt H G E*" [4].

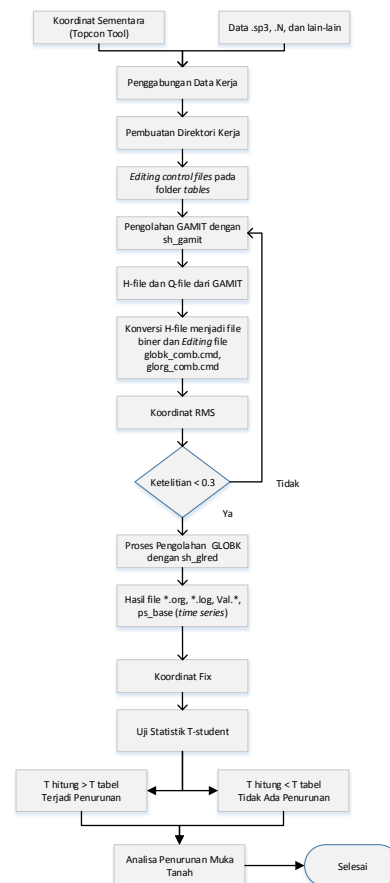
3. Uji statistik berupa *t-test*

Setelah koordinat estimasi dan laju pergeseran secara *time-series* didapat, perlu dilakukannya uji hipotesis. Hipotesis dapat disebut sebagai hipotesis statistik, dimana hipotesis statistik adalah suatu anggapan atau pernyataan, yang mungkin benar atau tidak, mengenai satu populasi atau lebih [5]. Uji statistik

dengan *t-test* dilakukan untuk mengetahui tingkat signifikansi pada hasil pengamatan. Hasil dari uji statistik dinyatakan dengan pernyataan signifikan atau tidak signifikan/ bersifat numeris.

4. Analisis penurunan tanah

Dari hasil pengolahan perangkat lunak GAMIT/GLOBK dan uji statistik, dilakukan analisis penurunan tanah. Analisis penurunan tanah dilakukan dengan melihat hasil pengolahan berupa melihat koordinat vertikal estimasi, hasil uji statistik, dan laju penurunan tanah. Untuk menyimpulkan bagaimana penurunan tanah pada titik pengamatan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo, perlu diamatinya bagaimana hasil tersebut berada. Fenomena-fenomena yang terjadi baik pada hasil maupun kondisi realita pada lapangan dijadikan bahan pertimbangan untuk melakukan konklusi.



Gambar 2. Diagram Tahap Pengolahan Data

III. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Pengolahan Data GPS

Pengolahan data RINEX GPS dilakukan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK, pengolahan dilakukan untuk mendapatkan koordinat estimasi khususnya koordinat vertikal beserta besar pergeseran vertikal dari titik pengamatan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo pada kurun waktu April hingga Oktober 2016. Pengolahan dilakukan menggunakan perangkat lunak GAMIT, didapatkanlah solusi berupa *h-file*

sebanyak DOY yang diteliti. Setelah didapatkan solusi dari proses pengolahan GAMIT, tahapan pengolahan dilanjutkan menggunakan perangkat lunak GLOBK untuk mendapatkan koordinat estimasi titik pengamatan per kala. Tabel 1 berikut ini adalah koordinat hasil pengolahan GLOBK per kala.

Tabel 1.
Koordinat Vertikal Estimasi

NO	Titik	Koordinat Vertikal Estimasi			
		Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Kala 3 (m)	Kala 4 (m)
1	TTG 1304	43.1865	43.2110	42.9462	42.9070
2	TTG 1305	38.9286	38.9308	38.8866	38.8655
3	TTG 1307	32.6170	32.3499	32.3556	32.2212
4	ARTERI	35.5267	35.5949	35.4886	35.4787
5	BPN 01	30.6911	30.6732	30.6418	30.6325
6	BPN 06	30.3165	30.2766	30.2403	30.2385
7	BT 01	32.2783	32.2610	32.2378	32.2100
8	BT 03	32.4750	32.5026	32.3761	32.2201
9	BW 08	31.4710	31.4381	31.4225	31.3856
10	BW 13	33.4493	33.4383	33.4262	33.4106
11	GEMPOL NEW	34.2736	34.2415	34.2314	34.2081
12	KB 01	35.6114	35.6851	35.5149	35.4904
13	KD 01	30.6463	30.6392	30.6316	30.6250
14	KJ 01	31.0328	31.0458	30.9289	30.9134
15	BM MARITIM	31.5147	31.5414	31.4612	31.4403
16	PT 11	34.2264	34.2020	34.1753	34.1637
17	VK 09	31.5714	31.6575	31.5226	31.5066
18	VK 13	37.7827	37.7636	37.7321	37.7203
19	VK14	36.4608	36.5484	36.4479	36.4386

B. Penaikan/Penurunan Antar Kala Penelitian April, Mei, Juni, dan Oktober 2016

Setelah didapatkan koordinat estimasi fix dari pengolahan GLOBK, dilakukan pengamatan pada semua kala khususnya vertikal. Pengamatan antar kala bertujuan untuk melihat apakah ada penaikan maupun penurunan antara satu kala dengan kala lainnya, dengan kata lain melihat adanya vektor pergeseran vertikal. Adapun hasil penaikan/penurunan tanah antar kala tertuang pada Tabel 2 yakni:

Tabel 2.
Penaikan/Penurunan Antar Kala

NO	Titik	Penaikan/Penurunan		
		Kala 1-2 (m)	Kala 2-3 (m)	Kala 3-4 (m)
1	TTG 1304	0.02452	-0.26482	-0.03921
2	TTG 1305	0.00211	-0.04418	-0.02107
3	TTG 1307	-0.26709	0.00576	-0.13442
4	ARTERI	0.06816	-0.10626	-0.00997
5	BPN 01	-0.01787	-0.03138	-0.00928
6	BPN 06	-0.03995	-0.0362	-0.00181
7	BT 01	-0.01735	-0.02312	-0.02781
8	BT 03	0.02759	-0.12646	-0.04601
9	BW 08	-0.0329	-0.01561	-0.03689
10	BW 13	-0.01098	-0.01207	-0.01561
11	GEMPOL NEW	-0.03208	-0.01008	-0.02333

12	KB 01	0.07375	-0.17018	-0.0245
13	KD 01	-0.0071	-0.0077	-0.00658
14	KJ 01	0.01302	-0.11695	-0.01546
15	BM MARITIM	0.02671	-0.08015	-0.02093
16	PT 11	-0.02434	-0.02674	-0.01154
17	VK 09	0.08612	-0.13495	-0.016
18	VK 13	-0.01903	-0.03156	-0.01176
19	VK14	0.08758	-0.10047	-0.00935

Terdapat hasil penaikan dan penurunan tanah pada keseluruhan antar kala. Pada kala 1-2, penurunan terkecil adalah -0,0110 m pada BW13 dan penurunan terbesar adalah -0,2671 m pada TTG 1307, sedangkan penaikan terkecil adalah 0,0021 m pada TTG 1305 dan terbesar adalah 0,0875 m pada VK14. Pada kala 2-3, penurunan terkecil adalah -0,0077 m pada KD01 dan terbesar adalah -0,2648 m pada TTG 1304, sedangkan penaikan hanya ada satu titik pada TTG 1307 dengan 0,0058 m. Pada kala 3-4, penurunan terkecil adalah -0,0018 m pada BPN PT06 dan terbesar adalah -0,1344 m pada TTG 1307.

Selain antar kala, pengamatan vektor pergeseran vertikal juga dilakukan pada seluruh kala (April, Mei, Juni, dan Oktober 2016). Adapun hasil penaikan/penurunan tanah seluruh kala dalam velo.org pada Tabel 3 yakni:

Tabel 3.
Penaikan/Penurunan Keseluruhan Kala

NO	Titik	Penaikan/Penurunan Kala 1-4 (m)
1	TTG 1304	-0.3309
2	TTG 1305	-0.0702
3	TTG 1307	-0.3543
4	ARTERI	-0.075
5	BPN 01	-0.0621
6	BPN 06	-0.081
7	BT 01	-0.0684
8	BT 03	-0.1683
9	BW 08	-0.0816
10	BW 13	-0.0384
11	GEMPOL NEW	-0.0621
12	KB 01	-0.1629
13	KD 01	-0.0216
14	KJ 01	-0.1425
15	BM MARITIM	-0.0909
16	PT 11	-0.0645
17	VK 09	-0.0987
18	VK 13	-0.0657
19	VK14	-0.0501

Dari data diatas, terdapat hasil penurunan tanah pada seluruh kala (April, Mei, Juni, dan Oktober 2016). Penurunan tanah terkecil adalah -0,0216 m pada KD01 dan terbesar adalah -0,3543 m pada TTG 1307. Hasil tersebut mengindikasikan adanya kecenderungan terhadap penurunan tanah pada penelitian ini.

C. Uji Statistik

Setelah mengetahui variabel pergeseran vertikal titik pengamatan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo, maka perlu pengujian statistik untuk melihat hasil pergeseran vertikal, apakah titik tersebut benar-benar mengalami pergeseran (baik kenaikan atau penurunan) atau hanya bergeser secara numeris. Uji statistik yang digunakan adalah uji-*t student*. Uji statistik dilakukan dengan menguji variabel pergeseran titik (P_{xy}) dari kala pengamatan x ke kala pengamatan y yang nilainya dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{xy} = \sqrt{(du_{xy})^2} \quad (1)$$

Untuk standar deviasi dari setiap titik pengamatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Std P_{xy} = \sqrt{(sd du_{xy})^2} \quad (2)$$

Hipotesis nol yang dilakukan pada uji statistik ini adalah titik pengamatan tidak bergeser dalam selang waktu x dan y, sehingga:

$$\text{Hipotesis nol} \quad H_0 : P_{xy} = 0$$

$$\text{Hipotesis alternatif} \quad H_1 : P_{xy} \neq 0$$

Kemudian dilakukan pengujian pergeseran vertikal titik pengamatan seperti berikut:

$$T = P_{xy} / Std P_{xy} \quad (3)$$

Pergeseran dinyatakan signifikan jika [6]

$$T > t_{df, \alpha/2}$$

df (*degree of freedom*) adalah 3, karena *df* merupakan jumlah n dikurangi dengan satu. Dengan selang kepercayaan 90% dan melihat pada tabel *t-distribution*, nilai dari uji hipotesis signifikan adalah sebesar 2,35 [7]. Tabel 4 berikut merupakan hasil uji statistik pada titik-titik pengamatan.

Tabel 4.
Uji Statistik

Titik	P_{xy}	$std P_{xy}$	T	$T > t_{df}$
1304	0.3309	0.13706	2.41425	Iya
1305	0.0702	0.02785	2.5202	Iya
1307	0.3543	0.14381	2.46366	Iya
ARTERI	0.075	0.04563	1.64379	Tidak
PT01	0.0621	0.02358	2.63382	Iya
PT06	0.081	0.03185	2.54315	Iya
BT01	0.0684	0.02562	2.66971	Iya
BT03	0.1683	0.07044	2.38937	Iya
BW08	0.0816	0.03071	2.65712	Iya
BW13	0.0384	0.01437	2.67302	Iya
GEMPOL	0.0621	0.02353	2.63932	Iya
KB01	0.1629	0.07779	2.09407	Tidak
KD01	0.0216	0.00802	2.69225	Iya
KJ01	0.1425	0.05952	2.39433	Iya
MARITIM	0.0909	0.04045	2.24721	Tidak
PT11	0.0645	0.02429	2.65593	Iya
VK09	0.0987	0.05877	1.67951	Tidak
VK13	0.0657	0.02477	2.65198	Iya
VK14	0.0501	0.04371	1.14611	Tidak

D. Analisis Penurunan Tanah

Uji statistik yang telah dilakukan, menghasilkan 14 titik yang bergeser secara signifikan dan lima titik yang tidak bergeser secara signifikan/bergeser numeris. Terdapat lima titik yang tidak bergeser secara signifikan, dikarenakan nilai uji tidak memenuhi nilai pada tabel *t-distribution*. Tabel 5 berikut adalah

titik yang tidak bergeser secara signifikan.

Tabel 5.
Hasil Uji Statistik Tidak Signifikan

Titik	P_u	$std P_u$	T	$T > t_{df}$
ARTERI	0.075	0.0456	1.6438	Tidak
KB01	0.1629	0.0778	2.0941	Tidak
MARITIM	0.0909	0.0405	2.2472	Tidak
VK09	0.0987	0.0587	1.6795	Tidak
VK14	0.0501	0.0437	1.1461	Tidak

Terdapat satu fenomena yang terjadi, yakni kenaikan/*uplift* titik dari kala pertama ke kala kedua. kenaikan/*uplift* ini menjadikan titik tersebut menjadi bias. Terdapat faktor yang menyebabkan kenaikan/*uplift* pada pengamatan kala kedua dari kala pertama. Faktor yang mempengaruhi adalah faktor cuaca. Cuaca hujan saat kala pertama dan kedua. Kondisi uap air yang cukup tinggi di troposfer membuat adanya jeda troposfer, dan koreksi matematis jeda troposfer menjadi lebih sulit dilakukan dibanding ketika cuaca saat cerah [8].

Dengan mengamati hasil pada penelitian April, Mei, Juni, dan Oktober 2016, terdapat beberapa titik yang mengalami penurunan tanah antar kala cukup besar. Hasil tersebut diakibatkan oleh hal yang sama dengan alasan yang terjadi pada titik yang bergeser tidak signifikan. Jarak *baseline* antara CORS ITS dengan titik pengamatan di lapangan cukup jauh, berkisar 30 kilometer. Dengan jarak yang cukup jauh, hasil pengolahan titik memiliki presisi yang tidak sebagus jarak yang dekat [9]. Selain jarak *baseline* yang cukup jauh, penggunaan metode radial dalam pengamatan juga mempengaruhi hasil, dikarenakan metode radial memiliki ketelitian posisi yang lebih rendah dibanding menggunakan metode jaring [10].

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun hal-hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah:

- Hasil pengamatan di lapangan pada April, Mei, Juni, dan Oktober 2016 terlihat adanya penaikan tertinggi dan penurunan. Nilai penurunan terendah adalah -0,26709 m pada titik TTG 1307 dan penaikan tertinggi adalah 0,08758 m pada titik VK14. Namun, apabila dilihat secara keseluruhan, titik pada penelitian 2016 ini cenderung untuk mengalami penurunan tanah, dimana penaikan tanah hanya terjadi antara kala pertama dengan kala kedua saja.
- Terdapat 14 titik dimana pergeseran vertikalnya bersifat signifikan dan lima titik dimana pergeseran vertikalnya bersifat tidak signifikan (BM ARTERI, KB01, BM MARITIM, VK09, dan VK14).

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Perlunya penambahan kala pengamatan, baik dua kali sebulan selama setahun, ataupun empat kali sebulan selama setahun. Semakin banyak data yang tersedia,

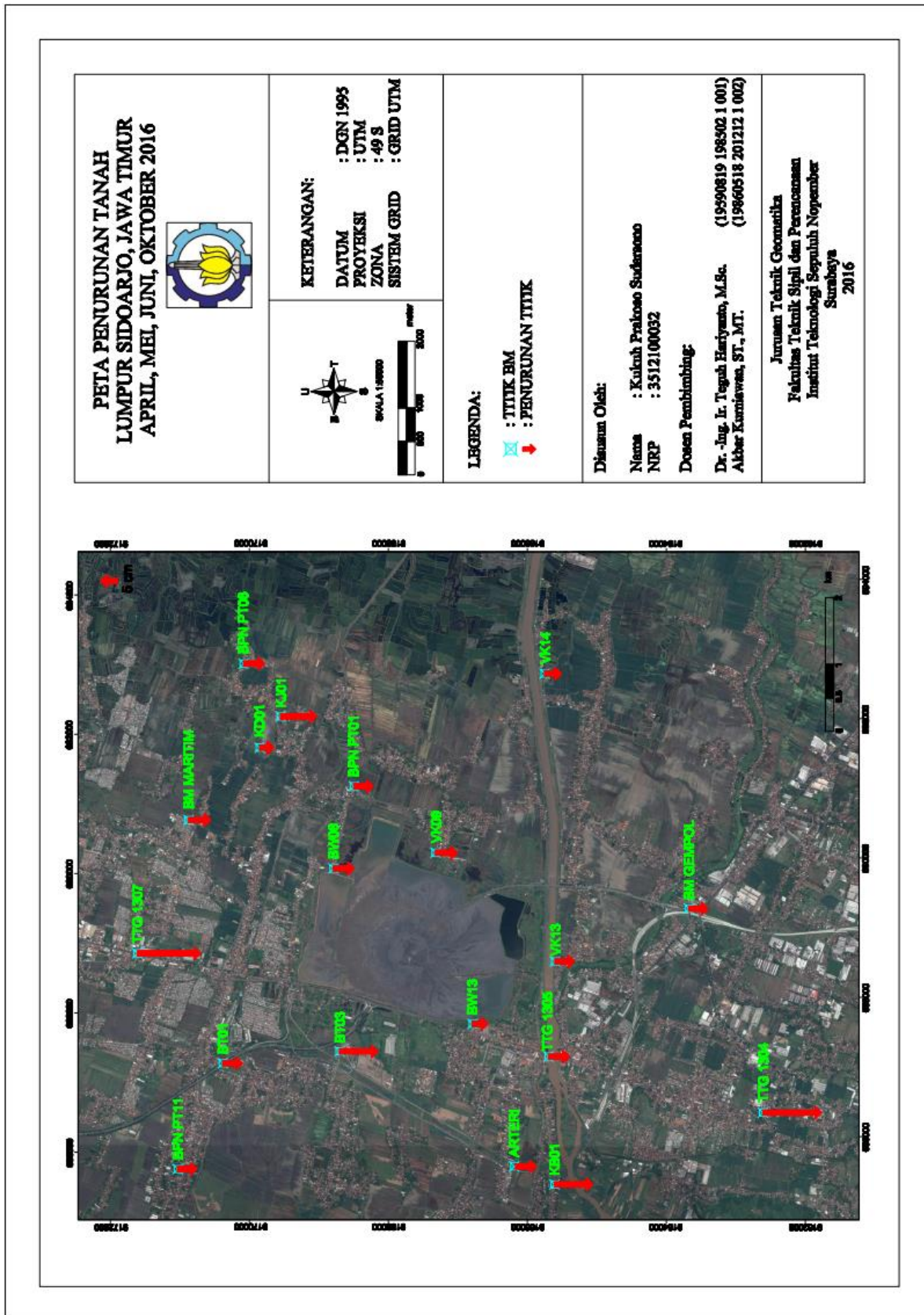
semakin terlihat pula pola uplift atau subsidence yang terjadi.

2. Penggunaan metode jaring akan menghasilkan data dengan ketelitian yang lebih bagus dibanding menggunakan metode radial.
3. Pengamatan untuk bidang dinamika bumi sebaiknya dilakukan minimal 12 jam supaya menghasilkan data residual yang tidak sebanyak dibawahnya.
4. Perlunya pengikatan ke CORS dengan kualitas bagus, semisal CORS BIG dengan jarak yang relatif dekat (< 15 km).
5. Perlunya integrasi dari beberapa metode, selain dengan pengamatan GPS untuk memberikan hasil yang lebih akurat terkait penurunan tanah yang terjadi di kawasan lumpur Sidoarjo. Beberapa metode yang dapat menunjang antara lain seperti pengukuran menggunakan radargrametri, pengukuran menggunakan waterpass, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fulton, A. 2008. *Land Subsidence: What Is It and Why Is It an Important Aspect of Groundwater Management*. California Department of Water Resources.
- [2] Hariyanto, T., Widodo, A., Artama, P. 2006. Studi Penurunan Tanah dan Sebaran Area Genangan Lumpur untuk Pengelolaan Bencana Di Wilayah Bencana Lumpur Porong Sidoarjo. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Kurniawan, A. 2011. *Evaluasi Penurunan Muka Tanah Di Wiliayah Kota Surabaya dari Data Pengamatan Global Positioning System dengan GAMIT/GLOBK*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] King, R. W., Herring, T. A., McClusky, S. C. 2010. *GAMIT Reference Manual, Release 10.40*. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- [5] Myers, R. H. & Walpole, R. E. 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [6] Wolf, P. R. dan D. Ghilani, Charles. 2006. *Adjustment Computations Spatial Data Analysis*. New Jersey: John Wiley.
- [7] Mikhail, E. M. & Gracie, G. 1981. *Analysis & Adjustment of Survey Measurement*. New York: Van Nonstrand Reinhold Company.
- [8] El-Rabbany, A. 2002. *Introduction to GPS: Global Positioning System*. Massachusetts: Artech House.
- [9] Okorocho, C. V. & Olajugba O. 2014. *Comparative Analysis of Short, Medium, and Long Baseline Processing in the Precision of GNSS Positioning*. Kuala Lumpur, Malaysia: FIG Congress 2014.
- [10] Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

LAMPIRAN



Lampiran 1. Peta Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo pada April, Mei, Juni, dan Oktober 2016